

令和元年6月4日現在

機関番号：14303

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14080

研究課題名(和文) コレスティック液晶との複合化による温度応答性の表面凹凸をもつゴムの創製

研究課題名(英文) Cholesteric elastomer films with temperature responsive surface with periodical undulation

研究代表者

浦山 健治 (Urayama, Kenji)

京都工芸繊維大学・材料化学系・教授

研究者番号：20263147

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：液晶エラストマーはゴム弾性と液晶性のカップリングにより、マクロな形状が液晶配向を反映するというユニークな特徴がある。このため、温度などによる外部刺激によって液晶の配向度や配向方向を変化させることにより、マクロな変形を誘起できる。本研究はらせん配向軸が膜厚方向に対して平行なコレステリックエラストマーの熱変形挙動に焦点をあてる。温度変化により、らせん配向軸は保たれたまま局所ダイレクターの配向度の大小が変化するため、高低差が温度に応答して変化する周期的な表面起伏をもつ膜となった。表面起伏と局所配向度の相関を明らかにし、表面起伏の熱応答挙動を定量的に説明できる積層体モデルを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

周期的ならせん配向パターンをもつ液晶エラストマーを用いて、周期的な表面起伏をもつゴム膜を作製した。この表面起伏は温度によって変化し、平坦状態や、山と谷が反転した凹凸パターンも含まれる。異種材料と接着させる場合など、接着面積が温度によって大きく変化することになるので、温度変化によってスムーズに接着と剥離が行えるゴム膜としての応用が考えられる。また、コレステリック液晶エラストマーの物性として、周期的な表面起伏の熱応答性に着目した研究例はなく、学術的な意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：We focus on thermal response of the surface profile for cholesteric elastomer membranes that have the helical axis along the surface. The surface of the elastomers have periodical undulation responsive to temperature change. Temperature change drives a variation in the orientation degree of local director in the helical director configuration, resulting in a change in the degree of surface undulation. We correlate the temperature-induced variations in the degrees of surface undulation and local director orientation. We successfully explains the thermal variation of surface undulation on the basis of the lamination model of planar nematic elastomers with continuous rotation of nematic director using the thermal elongation/contraction data of them.

研究分野：高分子物性

キーワード：液晶 液晶高分子 高分子液晶 コレスティック液晶 エラストマー ゴム 液晶エラストマー 液晶
ゴム

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

液晶エラストマーはゴム弾性と液晶性のカップリングにより、マクロな形状が液晶配向を反映するというユニークな特徴がある。温度、電場、光照射などによる外部刺激によって液晶の配向度や配向方向を変化させることにより、マクロな変形を誘起できるため、液晶エラストマーは刺激応答性ソフト材料として注目されている。液晶エラストマーのなかでもコレステリックエラストマーは周期的ならせん配向をもち、その周期性に由来した選択反射特性など興味深い光学特性を示すことからフォトニックエラストマーなどともよばれ注目されている。

2. 研究の目的

コレステリックエラストマーはらせん配向軸と膜厚方向の関係により、二種に大別できる。らせん配向軸が膜厚方向に対して平行あるいは垂直なタイプである。本研究では前者のタイプの熱変形挙動に焦点をあてる。温度を変化させることにより、らせん配向軸は保たれたまま局所ダイレクターの配向度の大小が変化するため、高低差が温度にตอบสนองして変化する周期的な表面起伏をもつ膜となる。本研究は当該のらせん配向をもつコレステリックエラストマーを作製し、表面起伏と局所配向度の相関を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

垂直配向を誘起する配向セル中に、キラルドーパントを含むモノアクリレート液晶とジアクリレート架橋剤、光開始剤の混合物を封入した。セル中の混合物は膜厚方向に垂直ならせん配向軸をもつコレステリック配向を示した。この配向状態で光架橋を行いゲル化させた後、セルから膜を分離し、洗浄、乾燥したものを試料として用いた。キラルドーパントの量を変量することにより、らせんピッチ長が異なる試料を作製した。

4. 研究成果

図1にらせんピッチ長が約 $16\mu\text{m}$ のコレステリックエラストマー膜 (PCLCE) の偏光顕微鏡像および表面凹凸像を示す。らせん配向を反映した縞状パターンがみられ、らせんピッチ長の半分の周期をもつ表面起伏が生じている。キラルドーパントを変量することで、ピッチ長が $10\mu\text{m}$ 程度から $150\mu\text{m}$ 程度まで変化させることができた。

一面素ずつの透過光強度を測定することにより、局所レターデーション (R) を求め、局所ダイレクターの配向度を評価した。図2にピッチ長が 16 および $100\mu\text{m}$ の試料についての R の位置依存性を示す。位置 X はらせんピッチ長で規格化されており、 $X=0$ が膜面に対して液晶配向が最もプラナー配向に近い点、 $X=1$ が最も垂直配向に近い点に相当する。プラナー配向部分については両者に差はないが、 $X > 0$ での R の値はピッチ長が $16\mu\text{m}$ の試料の方が小さい。理想的ならせん配向では $X=1$ で $R=0$ であり、ピッチ長が $16\mu\text{m}$ の試料の方が理想的ならせん配向に近いことがわかる。

表面起伏プロファイルを図3に示す。らせんピッチの半分の周期で、約 $1\mu\text{m}$ 程度の起伏が生じていることがわかる。図2のデータと照合することにより、 $X=0$ (プラナー配向部) と $X=1$ (垂直配向部) がそれぞれ、起伏が極大と極小を示す位置に対応していることがわかった。また、温度を変化させると、周期は保たれたまま、高低差が変化し、平面状態を経由して、山と谷が反転した起伏パターンも現れた。

表面起伏の温度応答挙動を説明するために、コレステリックエラストマーをダイレクターが回転していくプラナー配向ネマチックエラストマーの積層体とみなしたモデルを用いて解析を行った。プラナー配向試料の熱伸縮データを用いて同モデルより計算すると、実験データをよく記述できることがわかった。

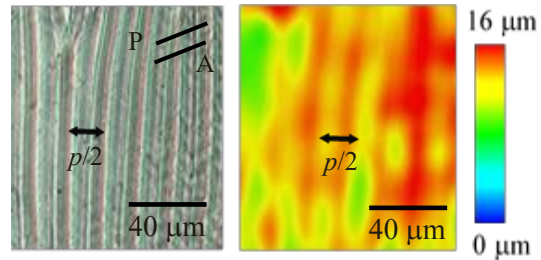


Fig. 1 Textures(left) and Surface profiles(right) of P-CLCE-16 at $40\text{ }^\circ\text{C}$. A and P denote the optical axes of analyzer and polarizer, respectively.

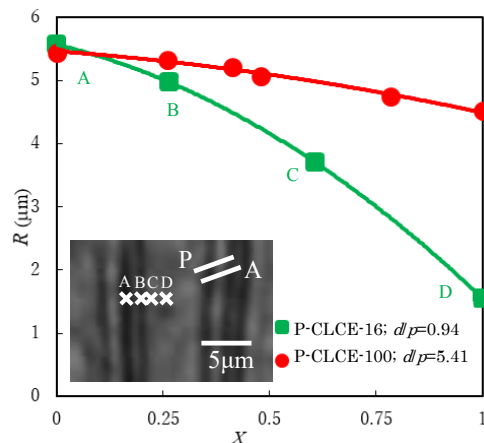


Fig. 2 Reduced-position dependence of retardation at 313 K . The inset shows the positions A-D in P-CLCE-16. A and P denote the optical axes of analyzer and polarizer, respectively.

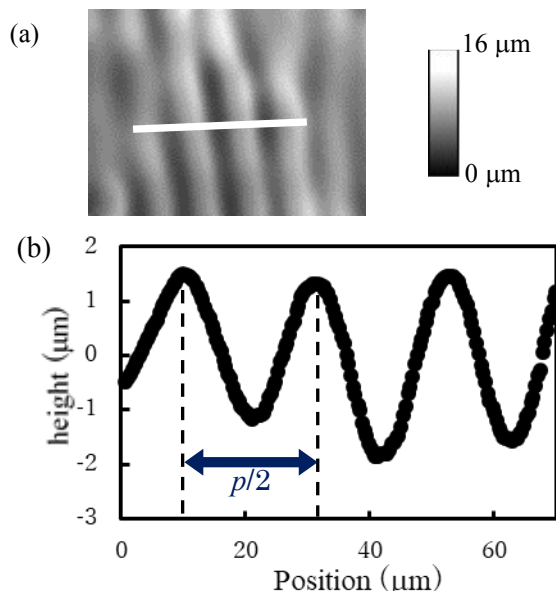


Fig. 3 (a) Surface profile of P-CLCE-16 at 313 K. (b) Position dependence of height variation along the white line in (a).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

(1) Doi, H., Urayama, K.

“Thermal Bending Coupled with Volume Change in Liquid Crystal Gels”
Soft Matter, 13, 4341-4348 (2017). DOI: 10.1039/c7sm00602k.

(2) Varanytsia, A., Nagai, H., Urayama, K., Palffy-Muhoray, P.

“Accurate Control of Laser Emission from Cholesteric Liquid Crystal Elastomers”
Mol. Cryst. Liq. Cryst., 647, 216-222 (2017). DOI: 10.1080/15421406.2017.1289596.

(3) Nagai, H., Liang, X., Nishikawa, Y., Nakajima, K., Urayama, K.

“Periodic Surface Undulation in Cholesteric Liquid Crystal Elastomers”
Macromolecules, 49, 9561-9567 (2016). DOI: 10.1021/acs.macromol.6b01688.

(4) Tamashima, K., Takigawa, T., Urayama, K.

“Effects of Mechanical Constraint on Director Configuration of Monodomain Nematic Elastomers under Temperature Variation”
Nihon Reoroji Gakkaishi, 44, 17-21 (2016). DOI:10.1678/rheology.44.17

(5) 浦山健治

“液晶性が付与されたエラストマーの多様な刺激応答特性”
液晶, 20(4), 202-211 (2016).

(6) 浦山健治

“配向制御された液晶エラストマ/ゲルの刺激応答特性”
応用物理, 85(8), 698-701 (2016).

[学会発表] (計 5 件)

(1) Urayama, K. (招待講演)

“Stimulus Responsive Liquid Crystal Elastomers/Gels”
The 12th International Gel Symposium (GelSymo 2018)
August 27-30, 2018, Yonezawa, Japan

(2) Urayama, K. (招待講演)

“Responsive Photonic Cholesteric Elastomers/Gels”
The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (ICCN5)
August 21-24, 2018, Fukuoka, Japan

(3) Urayama, K. (招待講演)

“Responsive Photonic Crystals Based on Cholesteric Liquid Crystal Elastomers/Gels”

EMN meeting on Smart and Multifunctional Materials
August 6-10, 2018, Lyon, France

(4) 浦山健治 (招待講演)

“液晶性の付与によるエラストマー・ゲルの刺激応答特性の創出”

第 65 回高分子討論会 (高分子学会)

2016 年 9 月 14-16 日、神奈川大学

(5) Urayama, K. (招待講演)

“Stimulus Response Behavior of Cholesteric Liquid Crystal Elastomers and Gels”

Workshop on Mathematical Problems of Orientationally Ordered Soft Solids

Sep. 4-9, 2016, Oaxaca, Mexico

[図書] (計 3 件)

(1) Urayama, K.

“Thermal and Electrical Actuation of Liquid Crystal Elastomers”, Soft Actuators (2nd Ed.), Chapter 16, Springer, 印刷中

(2) 浦山健治

“液晶エラストマーの配向制御と刺激応答特性”

刺激応答性高分子ハンドブック, 2-4-3 節, NTS 出版, 2018.

(3) 浦山健治

“液晶エラストマー／ゲルの電場駆動”

ソフトアクチュエータの材料・構成・応用技術, 第 2 章第 6 節, S&T 出版, 2016.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ: http://www.cis.kit.ac.jp/~urayama/Kenji_Urayama.html

6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者 なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。